

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-085314

(43)Date of publication of application : 31.03.1995

(51)Int.Cl.

G06T 17/00

(21)Application number : 05-232864

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 20.09.1993

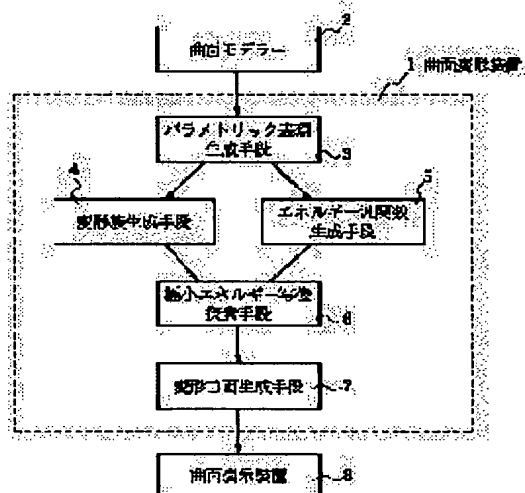
(72)Inventor : KIMURA MASAHIRO

## (54) CURVED SURFACE DEFORMATION DEVICE

## (57)Abstract:

PURPOSE: To provide a curved surface deformation device which can realize the wide operation of a curved shape and outputs the deformed curved surface which can satisfy the feature of a shape required by a designer by directly controlling the global geometric structure of the curved surface against an initial curved surface being a bi-three-dimensional uniform B spline curve surface.

CONSTITUTION: A deformation group generation means 4 generating the deformation group of the mapping of the deformed curved surface under a condition that it crosses the peripheral curved surface of the initial curved surface by G2 continuity, an energy functional generation means 5 generating an energy functional based on the initial curved surface, the Gaussian curvature of a desired curved surface and an average curvature, a minimum energy mapping search means 6 obtaining mapping minimizing the value of the energy functional among the generation deformation group and a deformed curved surface generation means 7 generating the bi-three-dimensional uniform B spline curved surface corresponding to the obtained mapping are provided.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-85314

(43) 公開日 平成7年(1995)3月31日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 6 T 17/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

7623-5L

G 0 6 F 15/ 60

4 0 0 D

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平5-232864

(22) 出願日 平成5年(1993)9月20日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 木村 昌弘

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

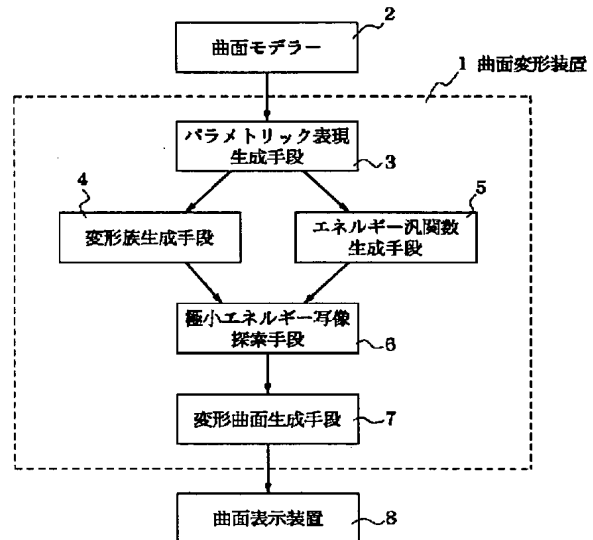
(74) 代理人 弁理士 若林 忠

(54) 【発明の名称】 曲面変形装置

(57) 【要約】

【目的】 双3次一様Bスプライン曲面である初期曲面に対し、曲面の大域的幾何構造を直接制御することによって曲面形状の広範な操作が可能であり、デザイナーの要求する形状の特徴を満足できる変形曲面を出力する曲面変形装置を提供する。

【構成】 変形曲面の写像の変形族を初期曲面の周囲の曲面と $G^2$ 連続で交わるという条件のもとで生成する変形族生成手段4と、初期曲面および所望の曲面のガウス曲率および平均曲率をもとにエネルギー汎関数を生成するエネルギー汎関数生成手段5と、生成した変形族の中からエネルギー汎関数の値を極小にする写像を求める極小エネルギー写像探索手段6と、求められた写像に対応する双3次一様Bスプライン曲面を生成する変形曲面生成手段7とを設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 双3次様Bスプライン曲面である初期曲面を大域的に変形して変形曲面を生成する曲面変形装置であって、

前記初期曲面をパラメトリックに表現するパラメトリック表現生成手段と、

前記変形曲面の写像の変形族を前記初期曲面の周囲の曲面と $G^1$ 連続で交わるという条件のもとで生成する変形族生成手段と、

前記初期曲面および所望の曲面のガウス曲率および平均曲率をもとにエネルギー汎関数を生成するエネルギー汎関数生成手段と、

前記変形族生成手段によって生成した変形族の中からエネルギー汎関数の値を極小にする写像を求める極小エネルギー写像探索手段と、

前記極小エネルギー写像探索手段で求められた写像に対応する双3次様Bスプライン曲面を生成する変形曲面生成手段とを有することを特徴とする曲面変形装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、計算機を用いた曲面形状のデザインを行なう場合に使用され、与えられた曲面の全体的な形状操作を目的としてこの曲面を変形する曲面変形装置に関し、特に、双3次様Bスプライン曲面である曲面を大域的に変形する曲面変形装置に関する。

【0002】

【従来の技術】計算機を使用して曲面形状のデザインを行なう場合、様々な曲面形状は、通常、曲面モデラーを用いて構成される。現在、曲面モデラーにおいて最も広く用いられている曲面は、Bezier（ベツィエ）曲面やBスプライン曲面などのテンソル積スプライン曲面である。これらの曲面は、制御点によって制御されており、これらの制御点を直接制御することによって、曲面の変形が行なわれる。制御点を直接制御して変形を行なう場合、局所的な変形は容易に行なえるが、曲面全体を「平たく」とか「丸く」とかいうようにデザイナーの要求する形状を満足すべく大域的な変形を行なおうとすると、非常に多くの制御点の位置決めが要求される。

【0003】非常に多くの制御点の位置決めをしなければならないという問題を解決するために、適当なエネルギー汎関数を導入しそれを最小にする曲面を求めることによって曲面形状の大域的制御を行なう曲面変形手法が開発されている。以下、この曲面変形手法について、説明する。

【0004】すでに与えられている曲面を $S_0$ とし、この曲面は、写像

【0005】

【数1】

$$X_0: \Omega \rightarrow R^3$$

によって、パラメトリックに表現されているとする。ここで $\Omega$ は（2次元の）矩形領域である。曲面 $S_0$ を変形することによってデザインされる曲面を $S$ とし、これも写像

【0006】

【数2】

$$X: \Omega \rightarrow R^3$$

によって、パラメトリックに表現されているとする。曲面 $S$ について、その単位法ベクトルを $N$ 、面積要素を $dA$ 、主方向を $e_1, e_2$ 、主曲率を $k_1, k_2$ 、ガウス曲率を $K (= k_1 k_2)$ 、平均曲率を $H (= (k_1 + k_2)/2)$ とする。

【0007】公知の文献（例えば、H. Hagan and G. Schulze: "Automatic smoothing with geometric surface patches," Computer Aided Geometric Design, 4(1987), 231-235; H. P. Moreton and C. H. Sequin: "Functional Optimization for Fair Surface Design," Computer Graphics, 26(1992), 167-176; T. Rando and J. A. Roulier: "Designing faired parametric surface s," Computer-Aided Design, 23(1991), 492-497など）に示されているように、エネルギー汎関数として、次のようなものが提案されている。

【0008】まず、デザインする曲面 $S$ が平面的になるようなエネルギーとして、

【0009】

【数3】

$$\int_S (k_1^2 + k_2^2) dA$$

がある。また、デザインする曲面が、球面的、円筒面的、円錐面的あるいは輪環面（トーラス面）になるようなエネルギーとして、

【0010】

【数4】

$$\int_S ((e_1 k_1)^2 + (e_2 k_2)^2) dA$$

がある。さらにまた、デザインする曲面 $S$ を、それぞれ、①平面的、②円柱面、③球面的にするようなエネルギーとして、①写像[曲面 $(u, v) \rightarrow K(u, v)N(u, v)$ ]で定義される曲面の面積、②写像[曲面 $(u, v) \rightarrow X(u, v) + (H(u, v)/K(u, v))N(u, v)$ ]で定義される曲面の面積、③写像[曲面 $(u, v) \rightarrow (K(u, v) + H(u, v)^2)N(u, v)$ ]で定義される曲面の面積、も提案されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら大域的制御を行なう上記従来の曲面変形方法では、その可能な形状操作が、デザイナーが要求する曲面の大域的形状操作に比べ、少なすぎるという問題点がある。

【0012】本発明の目的は、曲面の大域的幾何構造を直接制御することによって曲面形状の広範な操作が可能

であり、デザイナーの要求する形状の特徴を満足するように制御点を自動的に位置決めできる曲面変形装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の曲面変形装置は、双3次一様Bスプライン曲面である初期曲面を大域的に変形して変形曲面を生成する曲面変形装置であって、前記初期曲面をパラメトリックに表現するパラメトリック表現生成手段と、前記変形曲面の写像の変形族を前記初期曲面の周囲の曲面と $G^2$ 連続で交わるという条件のもとで生成する変形族生成手段と、前記初期曲面および所望の曲面のガウス曲率および平均曲率をもとにエネルギー汎関数を生成するエネルギー汎関数生成手段と、前記変形族生成手段によって生成した変形族の中からエネルギー汎関数の値を極小にする写像を求める極小エネルギー写像探索手段と、前記極小エネルギー写像探索手段で求められた写像に対応する双3次一様Bスプライン曲面を生成する変形曲面生成手段とを有する。本発明において $G^2$ 連続に交わるとは、接平面が連続かつ曲率も連続であるように交わることである。

【0014】以下、本発明についてさらに詳しく説明する。変形族生成手段は、周囲の曲面と $G^2$ 接続に交わる双3次一様Bスプライン曲面 $S_0$ ：

【0015】

【数5】

$$X_0: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^3, \\ S_0 = X_0(\Omega)$$

(ここに、 $\Omega$ は矩形領域である)が指定されたとき、デザイナーが指定したい曲面である変形曲面 $S$ ：

【0016】

【数6】

$$X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^3, \\ S = X(\Omega)$$

が周囲の曲面と $G^2$ 連続に交わるような写像 $X$ の族(変形族)

【0017】

【外1】

$X$

を生成するものである。

【0018】また、エネルギー汎関数生成手段は、エネルギー汎関数 $E(X)$ を生成するものである。ここでエネルギー汎関数 $E(X)$ は、例えば、

【0019】

【数7】

$$E(X) = E_K(X) + E_H(X),$$

$$E_K(X) = \int_{\Omega} |K(X) - K_0|^2 du dv,$$

$$E_H(X) = \int_{\Omega} |H(X) - H_0|^2 du dv$$

によって表わされる。ここで、 $K(X)$ 、 $H(X)$ は、それぞれ曲面 $S$ のガウス曲率、平均曲率である。また、 $K_0$ 、 $H_0$ は、領域 $\Omega$ 上の関数であって、変形曲面の形状制御のためにデザイナーによって指定されるものであり、それぞれ、デザインしたい曲面に要求されるガウス曲率、平均曲率である。

【0020】さらに、極小エネルギー写像探索手段は、変形族

【0021】

【外2】

$X$

を構成する写像のうち、上記のエネルギー汎関数 $E(X)$ を極小にする写像 $X$ を求めるものであり、変形曲面生成手段は、エネルギー汎関数 $E(X)$ を極小にする写像 $X$ に対応する双3次一様Bスプライン曲面 $S$ を変形曲面として生成するものである。

【0022】

【作用】本発明の曲面変形装置では、周囲の曲面と $G^2$ 連続に交わる双3次一様Bスプライン曲面 $S_0 = X_0(\Omega)$ が初期曲面としてパラメトリックに与えられたとき、そのデータから変形族生成手段によって、変形曲面 $S = X(\Omega)$ が周囲の曲面と $G^2$ 連続に交わるような写像 $X$ の族

【0023】

【外3】

$X$

が得られる。ところで、曲面のガウス曲率、平均曲率は、曲面上に定義された大域的な幾何学量であり、曲面の形状と密接に結び付いている。したがって本発明におけるエネルギー汎関数 $E$ は、曲面の大域的幾何学量を直接制御するものであり、エネルギー汎関数 $E$ によって曲面形状の広範な大域的制御が可能となる。そして最小エネルギー写像探索手段によって、得られた変形族

【0024】

【外4】

$X$

のうち、エネルギー汎関数 $E$ を最小にし、かつ初期曲面 $S_0$ を表現する写像 $X_0$ に最も近い写像 $X$ が求められる。この写像 $X$ に対応する双3次一様Bスプライン曲面 $S$ を求めることにより、デザイナーが所望する変形曲面 $S$ が得られることになる。

【0025】

【実施例】次に、本発明の実施例について図面を用いて説明する。図1は本発明の一実施例の曲面変形装置の構成を示すブロック図である。

【0026】この曲面変形装置1には、周囲の曲面と $G^2$ 連続に交わる双3次一様Bスプライン曲面(初期曲面) $S_0$ を入力するための曲面モデラー2と、生成した変形曲面 $S$ を表示するための曲面表示装置8が接続されている。そして、この曲面表示装置1には、曲面モデラー2から入力したデータに基づいて初期曲面 $S_0$ のパラメトリック表現

【0027】

【数8】

$$X_0: \Omega \rightarrow R^3$$

を求めるパラメトリック表現生成手段3と、変形曲面 $S = X(\Omega)$ が周囲の曲面と $G^2$ 連続に交わるような写像

【0028】

【数9】

$$X: \Omega \rightarrow R^3 \text{ の族 } X$$

を求める変形族生成手段4と、デザイナーによって不図示の入力装置により入力された関数 $K_0, H_0$ からエネルギー汎関数 $E$ を求めるエネルギー汎関数生成手段5と、変形族生成手段4で生成された変形族

【0029】

【外5】

$X$

の中から、エネルギー汎関数 $E$ を極小にする写像 $X$ を求める極小エネルギー写像探索手段6と、極小エネルギー探索手段6によって得られた写像 $X$ からこれに対応する双3次Bスプライン曲面 $S$ を変形曲面 $S$ として生成し曲面表示装置8に出力する変形曲面生成手段7とによって、構成されている。なお、関数 $K_0, H_0$ は、パラメータ空間 $\Omega$ 上で定義されている。また、モデラー2としては、双3次一様Bスプライン曲面をサポートしている曲\*

$$X(u, v) = \sum_{0 \leq i \leq m, 0 \leq j \leq n} P_{i,j} B_{i,4}(u) B_{j,4}(v)$$

という写像

【0036】

【数13】

$$X: \Omega \rightarrow R^3$$

$$P_{i,k} = P_{i,k}^0, (0 \leq i \leq m), (k=0, 1, 2, n-2, n-1, n), \quad (2)$$

$$P_{k,j} = P_{k,j}^0, (k=0, 1, 2, m-2, m-1, m), (0 \leq j \leq n) \quad (3)$$

を満たすものである。

【0038】一方、エネルギー汎関数生成手段5には、パラメータ空間 $\Omega$ 上の関数 $K_0, H_0$ がデザイナーによって入力されており、エネルギー汎関数生成手段5は、上記のパラメトリック表現と入力された関数 $K_0, H_0$ とから、数値積分によって、

【0039】

【数15】

\*面モデラーを使用する(例えば、文献:「CAD/CAM, CGのための3次元形状モデリング」, PIXEL, No.20, 1990.3, 98-162を参照)。一般にこのような曲面モデラーでは、マウスを用いて制御点を入力することにより、入力曲面が構成されるようになっている。

【0030】次に、本実施例の動作について説明する。

【0031】曲面モデラー2を用いて双3次一様Bスプライン曲面 $S_0$ を入力すると、制御点 $\{P_{i,j}^0\}, (0 \leq i \leq m, 0 \leq j \leq n)$ がデータとして得られる。このときこの曲面 $S_0$ は、写像

10

【0032】

【数10】

$$X_0: \Omega \rightarrow R^3$$

の像として、パラメトリック表現生成手段3によって、パラメトリックに表現される。ここで、 $\Omega = [0, m-2] \times [0, n-2]$ であり、 $(u, v) \in \Omega$ に対して、

【0033】

【数11】

$$X_0(u, v) = \sum_{0 \leq i \leq m, 0 \leq j \leq n} P_{i,j}^0 B_i(u) B_j(v),$$

ただし、 $B_i(t) = \phi(t+3-i)$

である。 $\phi$ は、整数をノットとする4階のBスプライン関数である。

【0034】曲面 $S_0$ のこのようなパラメトリック表現は、変形族生成手段4に入力し、このパラメトリック表現から、変形曲面 $S = X(\Omega)$ が周囲の曲面と $G^2$ 連続に交わるような双3次一様Bスプライン曲面の族が求められる。この族は、

【0035】

【数12】

(1)

※によって表現される。ここで各 $P_{i,j}$ は空間内の点であって、条件

【0037】

【数14】

$$E(X) = E_K(X) + E_H(X),$$

$$E_K(X) = \int_{\Omega} |K(X) - K_0|^2 du dv,$$

$$E_H(X) = \int_{\Omega} |H(X) - H_0|^2 du dv$$

を満たすエネルギー汎関数 $E$ を $\{P_{i,j}\}, (3 \leq i \leq m-3, 3 \leq j \leq n-3)$ の関数として表現する。

7

【0040】そして、変形族生成手段4で生成した変形族

【0041】

【外6】

X

とエネルギー汎関数Eとは、極小エネルギー写像探索手段6に入力する。極小エネルギー写像探索手段6では、 $\{P_{i,j}^0\}$ を初期値とする勾配降下法によって、条件式(2),(3)を満足する $\{P_{i,j}\}$ のうち、エネルギー汎関数Eを極小にするものが見付けられる。これにより、式(1)によって、エネルギー汎関数Eを極小にする写像Xが求められる。このようにして求められた写像Xは、変形曲面生成手段7に入力する。変形曲面生成手段7では、 $\Omega = [0, m-2] \times [0, n-2]$ から

【0042】

【外7】

3次元実数空間  $R^3$

への上述の写像Xの像として、求める変形曲面Sを生成する。このようにして生成した変形曲面Sは曲面表示装置8に出力され、曲面変形装置8によって表示される。

【0043】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、変形曲面の写像の変形族を初期曲面の周囲の曲面と $G^2$ 連続で交 \*

8

\*わるという条件のもとで生成する変形族生成手段と、初期曲面および所望の曲面のガウス曲率および平均曲率をもとにエネルギー汎関数を生成するエネルギー汎関数生成手段と、生成した変形族の中からエネルギー汎関数の値を極小にする写像を求める極小エネルギー写像探索手段とを設けることにより、曲面の大域的幾何構造であるガウス曲率と平均曲率との直接制御によって変形曲面を得ることが可能となり、デザイナーが要求する形状特徴を有するように、曲面形状の広範な大域的操作が可能になるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の曲面変形装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

- 1 曲面変形装置
- 2 曲面モデラー
- 3 パラメトリック表現生成手段
- 4 変形族生成手段
- 5 エネルギー汎関数生成手段
- 6 極小エネルギー写像探索手段
- 7 変形曲面生成手段
- 8 曲面表示装置

【図1】

